

Article, Published Version

**Christiansen, Hermann**

## **Erste Ergebnisse aus Schwebstoffmessungen mit dem CUX-SAMPLER in der Elbe**

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:  
**Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101221>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Christiansen, Hermann (1985): Erste Ergebnisse aus Schwebstoffmessungen mit dem CUX-SAMPLER in der Elbe. In: Die Küste 42. Heide, Holstein: Boyens. S. 123-134.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Erste Ergebnisse aus Schwebstoffmessungen mit dem CUX-SAMPLER in der Elbe

VON HERMANN CHRISTIANSEN

## Zusammenfassung

Seit 1980 werden von Strom- und Hafenbau, Hamburg, Schwebstoffmessungen an der Oberelbe bei Oortkaten durchgeführt. Sie dienen der Ermittlung von Schwebstofffrachten nach Hamburg, die Grundlage für die Erforschung von Sedimentationsvorgängen in den Häfen sind. Gleichzeitig soll mit den Messungen eine Eichung der an der automatischen Meßstation Oortkaten ermittelten Daten für Repräsentativaussagen über den gesamten Flußquerschnitt durchgeführt werden. Die angewandte Meßstrategie, die Funktion des bei den Messungen eingesetzten CUX-SAMPLER und die Ergebnisse werden mitgeteilt. Der Beitrag soll gleichzeitig einen Eindruck darüber vermitteln, daß die Erforschung von Zusammenhängen der Schwebstofffracht in Tideflüssen ein sehr komplexes Unternehmen ist, das unter größter Sorgfalt zu planen und durchzuführen ist.

## Summary

*Suspended matter measurements have been conducted at Oortkaten since 1980 by Strom- und Hafenbau, Hamburg. These data are used to determine the suspended sediment transport toward Hamburg which can then serve as a basis for investigating the sedimentation characteristics in Hamburg Harbor. The data were also taken in order to calibrate the measurement station at Oortkaten where cross-sectional averaged measurements are taken automatically. Discussions are given of the measurement procedures and the role played by the CUX-SAMPLER. First results are presented. This paper also helps to show how complex research on suspended matter transport in tidal flow is and how such programs must be carefully planned and carried out.*

## Inhalt

1. Anlaß . . . . .	123
2. Meßstrategie im Tidegebiet . . . . .	124
2.1 Vorbemerkungen . . . . .	124
2.2 Meßsysteme und -ablauf . . . . .	125
3. Der CUX-SAMPLER . . . . .	126
4. Messungen bei Oortkaten und Aufbereitung der Daten . . . . .	128
5. Ergebnisse . . . . .	131
5.1 Schwebstoffkonzentrationen . . . . .	131
5.2 Schwebstofftransporte . . . . .	131
5.3 Eichdaten für die Dauermeßstation . . . . .	133
6. Schlußbetrachtung . . . . .	133
7. Schriftenverzeichnis . . . . .	134

## 1. Anlaß

In den Hamburger Häfen und im hamburgischen Elbabschnitt sedimentieren pro Jahr rd. 2 Mio. m<sup>3</sup> Schlick, Schlicksandgemische und Sand (CHRISTIANSEN, ÖHLMANN, TENT, 1982). In den Hafenbecken lagern sich überwiegend Schlicksandgemische und reiner Schlick und im

Strombett der Elbe vorwiegend reiner Sand ab. Das Verhältnis von Sand zu Schlicksandgemischen und Schlick beträgt etwa 1 : 1. Zur Aufrechterhaltung der Schifffahrt müssen die Ablagerungen ständig gebaggert und untergebracht werden. Wegen der festgestellten Kontamination der schlickigen Sedimente bereitet die Unterbringung dieses Baggermengenanteils große Schwierigkeiten. Ein Ziel eines seit 1981 laufenden „Baggergut-Untersuchungsprogramms“ ist es daher, Möglichkeiten zur Reduzierung des Schlickfalls zu untersuchen. Voraussetzung für die Behandlung solcher Ziele sind ausreichende Kenntnisse über die Herkunft des Schlicks, die Gesetzmäßigkeiten seines Transportes in der suspendierten Phase (Schwebstoff) und die Ursachen seiner Ablagerungen. Hierzu sind umfangreiche Messungen durchgeführt und auch erste Ergebnisse mitgeteilt (CHRISTIANSEN, HAAR, RADTKE, 1985) worden. Teile dieses Meßprogramms sollen die wichtige Frage beantworten, wieviel an Schwebstoffen nach welchen Gesetzmäßigkeiten von oberstrom nach Hamburg verfrachtet wird. Von den Gesamt-Schlickbaggermengen wird die von oberstrom antransportierte Schwebstoffmenge als der wesentliche Anteil betrachtet.

Da Schwebstofffrachten und -ablagerungen kein ausschließlich hamburgisches Problem sind, wurde Ende 1981 vom Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) ein Forschungsvorhaben „Schlick/Schwebstoffe in Ästuaren“ beschlossen und über eine Laufzeit von rd. 4,5 Jahren vom Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) mit 1,74 Mio. DM gefördert (CHRISTIANSEN, 1985). Teil dieses Vorhabens ist die Entwicklung einer automatischen Meßstation für Schwebstoffe und Begleitparameter (NEUMANN, 1985). Diese Entwicklung am Versuchsstandort Oortkaten/Elbe ist abgeschlossen. Seit dem Sommer 1984 läuft die Station im Dauertest und liefert Daten für ein wissenschaftliches Untersuchungsprogramm.

Um festzustellen, in welcher Relation die im Vertikalprofil der Station integriert erfaßten Meßdaten zu Mittelwerten über den Gesamtquerschnitt des Flusses stehen, sind zur Eichung Vergleichsmessungen in mehreren Vertikalprofilen mit dem speziell entwickelten Meßgerät CUX-SAMPLER durchgeführt worden.

Über die Meßstrategie, das Meßverfahren und die Ergebnisse soll im folgenden berichtet werden.

## 2. Meßstrategie im Tidegebiet

### 2.1 Vorbemerkungen

Über sehr umfangreiche Schwebstoffmessungen in der Außenelbe (GÖHREN, 1971) und die dabei verwendete Meßmethodik unter Berücksichtigung der spezifischen Problematik im Tidegebiet (CHRISTIANSEN, 1974) gibt es ausführliche Berichte.

Aus den Erfahrungen dieser und späterer Messungen im oberen Tideästuar bei Hamburg wurden vom Verfasser Empfehlungen für Schwebstoffmessungen im Tidegebiet erarbeitet. Sie sind durch Beiträge von E. RINGER ergänzt und von H. VOLLMERS für einen in Kürze erscheinenden Abdruck der DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft (DVWK, 1985) überarbeitet worden. Zitate hieraus werden im folgenden entsprechend gekennzeichnet („...“).

„Schwebstoffgehalt und Schwebstofftransport im Tidegebiet unterscheiden sich als Folge der völlig anderen hydrodynamischen Verhältnisse in den Tideflüssen wesentlich von denjenigen der Binnenflüsse. Der durch astronomische Einflüsse bedingte rhythmische Wechsel der Wasserstände innerhalb von etwa 12,5 Stunden (Tnw – Thw – Tnw) bewirkt eine ständige Aufeinanderfolge von Beschleunigung, Verzögerung und Richtungsumkehr der Strömung. Dazwischen liegen kurzzeitige Phasen des Stromstillstandes. Die Strömungsgeschwindigkeiten ändern sich daher ständig. Auch innerhalb des Durchflußquerschnittes verlagern sich die Strömungsschwerpunkte. Meteorolo-



- Der Abstand der Meßlotrechten soll 200 bis 300 m nicht überschreiten; es sind jedoch – unabhängig von der Flußbreite – mindestens drei Meßlotrechte zu wählen.
- In jeder Meßlotrechten sollten etwa stündlich die Messungen wiederholt werden.
- Die Dauer einer Integrationsmessung sollte 5 bis 10 Minuten betragen, um Zufallswerte aus Schwebstoffwolken, die durch pulsierende Makroturbulenz hervorgerufen werden, zu vermeiden.
- Die Messungen des Schwebstoffgehaltes und der Strömungsgeschwindigkeit sollten über eine volle Tide durchgeführt werden und zur genauen Erfassung der Kenterzeiten 1 Std. vor erster Kenterung beginnen und erst 1 Std. nach letzter Kenterung enden.
- Die Messungen sollten mehrmals im Jahr wiederholt werden, um die Bandbreite der jahreszeitlich unterschiedlichen Werte zu erfassen.

Unter den vorgenannten Bedingungen (Zeitbedarf) kann bei Einsatz eines einzigen Meßschiffes, z. B. mit dem CUX-SAMPLER, in drei bis fünf Meßlotrechten gemessen werden.

### 3. Der CUX-SAMPLER

Der CUX-SAMPLER (Abb. 2) ist ein Schöpfgerät, mit dem grundsätzlich in jedem Gewässer integrierte Wasserproben isokinetisch entnommen werden können. Da Messungen je Vertikalprofil einschließlich Zentrifugieren des Schwebstoffs und Versetzen bis zum nächsten Profil nur 10 bis 15 Min. dauern, eignet sich dieses Gerät besonders für den Einsatz im Tidegebiet, wo möglichst viele Profile in möglichst kurzer Zeitfolge erfaßt werden müssen. Das Gerät besitzt keine elektronischen oder mechanisch bewegten Bauteile und ist somit nahezu wartungsfrei. Aus Meßdauer und entnommenem Wasservolumen können Konzentration von Inhaltsstoffen, Transportraten von Wasser und Inhaltsstoffen sowie die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Meßprofil bestimmt werden.

„Für die Schwebstoffmessungen in der Elbe wurde von Strom- und Hafenbau, Hamburg, ein CUX-SAMPLER mit folgenden Daten eingesetzt:

3,0 m Länge, 0,3 m Durchmesser, 250 kg Masse und 110 l Probefüllvolumen. Je nach



Abb. 2a. CUX-SAMPLER beim Entleeren

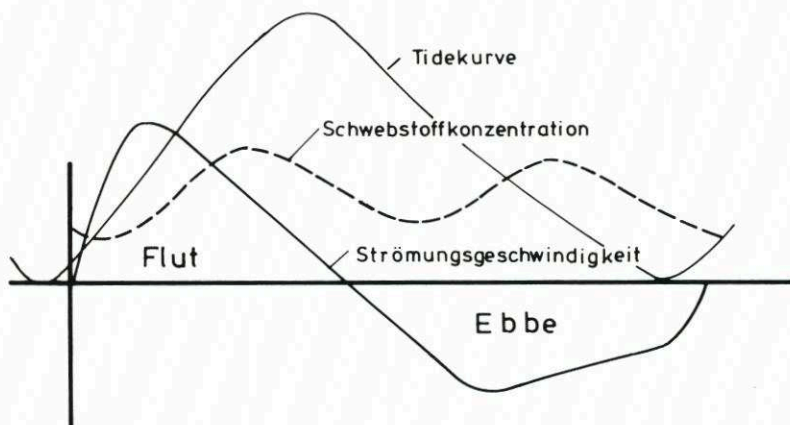


Abb. 1. Typischer Verlauf von Strömungsgeschwindigkeit und Schwebstoffkonzentration über die Tide

logische Einflüsse (Wind) und die Abflußcharakteristik des tidefreien Stromes (Oberwasser) bewirken zusätzliche Änderungen. Die Schwebstoffkonzentration ändert sich somit ständig. Die Ganglinien der Strömungsgeschwindigkeit und der Schwebstoffkonzentration sind meist phasenversetzt.“

Die Schwebstoffkonzentrationen sind in den Beschleunigungsabschnitten allgemein geringer als in den Verzögerungsphasen. Darüber hinaus treten noch erhebliche, temperaturbedingte Schwankungen auf.

## 2.2 Meßsysteme und -ablauf

Die vorgenannten Randbedingungen ständig schwankender Strömungsgeschwindigkeiten und Schwebstoffverhältnisse müssen bei einer gesicherten Erfassung von Schwebstoffkonzentrationen und -transportraten berücksichtigt werden. Dies ist nur möglich, wenn über volle Tiden Messungen an mehreren Stellen innerhalb eines geeigneten Querschnitts über jeweils ausreichend lange Zeiträume durchgeführt werden. Grundsätzlich können zwei Arten von Meßsystemen verwandt werden:

- a) vertikal integrierende Systeme
- b) punktförmig integrierende Systeme

Für Messungen nach a) stehen derzeit zwei Verfahren zur Verfügung, und zwar der CUX-SAMPLER für den mobilen Einsatz an mehreren Stellen eines Flußquerschnittes oder fest positionierte Dauermeßstationen mit vertikalintegrierender und isokinetischer Probenahme (NEUMANN, 1985). Für Messungen nach b) können im mobilen Einsatz in mehreren Punkten des Querschnittes und jeweils ausreichender Entnahmezeit Proben abgepumpt werden (CHRISTIANSEN, 1974). Eine weitere Möglichkeit sind Dauermessungen mit leistungsfähigen Gerätesystemen, die, fixiert in einer Position, über längere Zeit bei kurzen Registrierintervallen Daten der Schwebstoffkonzentrationen aufnehmen (RENGER, 1982). Für beide unter a) und b) genannten Meßsysteme an festen Positionen sind zusätzlich Eichmessungen mit mobilen Meßsystemen erforderlich, wenn repräsentative Aussagen für den Gesamtflußquerschnitt gefordert werden.

Bei Messungen nach System a) im mobilen Einsatz, auf das hier näher eingegangen werden soll, müssen folgende Punkte beachtet werden:



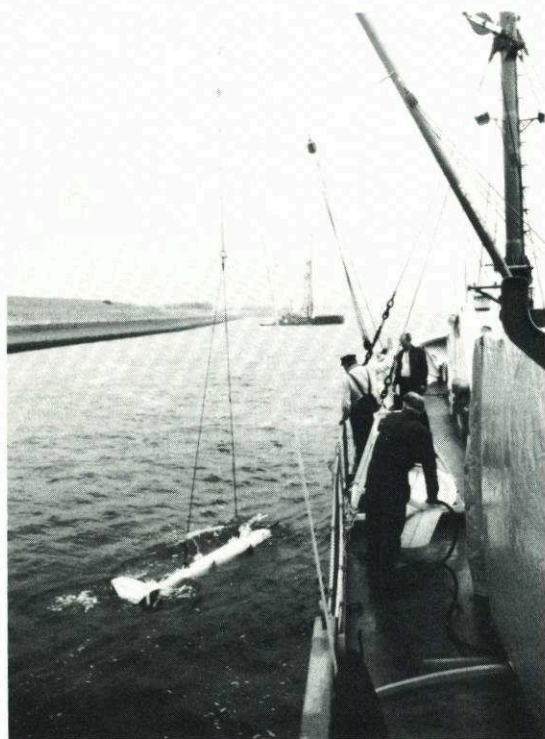


Abb. 2b. CUX-SAMPLER beim Absenken

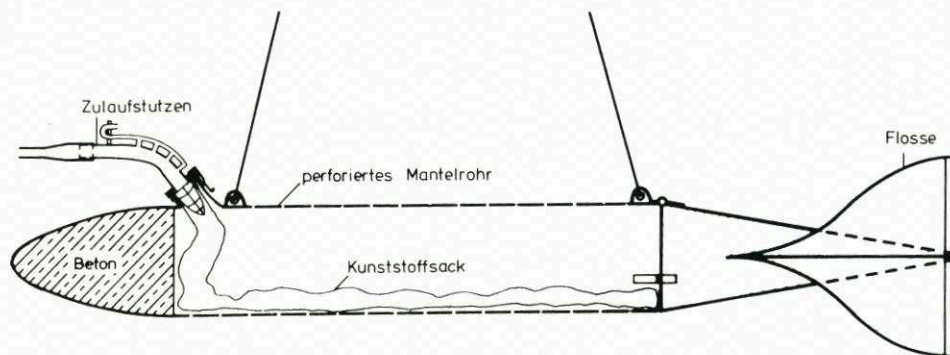


Abb. 3. Prinzipskizze vom CUX-SAMPLER

mittlerer Strömungsgeschwindigkeit, gewünschter Probenahmezeit bzw. vorgesehener Entnahmetiefe wurden 10 mm, 20 mm bzw. 30 mm Stutzenweite gewählt.

Beim Eintauchen in das Wasser dringt durch den perforierten Mittelteil des Gerätes Wasser ein (Abb. 3). Der innenliegende Kunststoffsack wird dadurch zusammengedrückt, wobei die Luft durch den Zulaufstutzen entweicht. Beim weiteren Absenken des Gerätes bis in die gewünschte Wassertiefe und zurück an die Wasseroberfläche mit jeweils konstanter Senk- und Hubgeschwindigkeit läuft, entsprechend der Anströmgeschwindigkeit – d. h. isokinetisch –, Wasser durch den Zulaufstutzen in den Kunststoffsack. Nach diesem Prinzip arbeiten auch Geräte, die in den USA eingesetzt wurden (STEVENS, 1980). Die Entnahmezeit muß durch einen Probelauf so bestimmt werden, daß der Kunststoffsack nicht vollständig gefüllt wird. Das Entleeren des Gerätes erfolgt durch Auslauf aus dem Zulaufstutzen. Die Entnahmemenge kann dann zentrifugiert und damit die

Schwebstoffmenge  $M_s$  ermittelt werden. Aus der Bestimmung der Entnahmemenge ( $V$ ), der Entnahmedauer ( $t$ ), der Querschnittsfläche des Zulaufstutzens ( $f$ ) und der Wassertiefe  $h$  können folgende über die Wassertiefe und 1 m Flußbreite integrierte Werte ermittelt werden:

$$\text{Schwebstofftrieb} \quad m_s = \frac{M_s}{t \cdot \alpha} \cdot \frac{h \cdot 1m}{f} \quad (\text{g/m} \cdot \text{s})$$

$$\text{Abfluß} \quad Q_w = \frac{V}{t \cdot \alpha} \cdot \frac{h \cdot 1m}{f} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\text{Schwebstoffkonzentration} \quad C_s = \frac{M_s}{V} \quad (\text{g/m}^3)$$

$$\text{Strömungsgeschwindigkeit} \quad v = \frac{V}{t \cdot \alpha \cdot f} \quad (\text{m/s})$$

Der Reibungskoeffizient  $\alpha$  muß für unterschiedliche Stutzenlängen und -weiten bekannt sein. Durch geeignete Zusatzeinrichtungen können mit dem CUX-SAMPLER auch aus konstanter Wassertiefe bei Strömung und in stehenden Gewässern vertikal und horizontal integrierte Proben entnommen werden.“

Kleinere CUX-SAMPLER, z. B. der 5-l-Typ, können eingesetzt werden, bei hohen Schwebstoffgehalten oder auch dann, wenn geringere Probemengen ausreichen und wenn für den Einsatz nur Handwinden oder Elektrowinden mit geringer Leistung verfügbar sind.

Der Prototyp des in Abb. 2 und 3 gezeigten Gerätes wurde vom Verfasser entwickelt und von der Herstellerfirma Erich Berg, Hamburg, inzwischen weiter verbessert.

#### 4. Messungen bei Oortkaten und Aufbereitung der Daten

Mit Schwerpunkt in den Jahren 1982 und 1983 wurden vom Meßschiff „NIGE WARK“ im Elbequerschnitt bei Oortkaten 11 Messungen mit dem CUX-SAMPLER über volle Tiden und in jeweils drei Vertikalprofilen durchgeführt. Dabei konnten Oberwasserführungen von 300 bis 2000 m<sup>3</sup>/s und Wassertemperaturen in der Spanne von 3 bis 23 °C erfaßt werden. Tabelle 1 gibt einen Überblick der Meßdaten und der nach besonderer Meßwertaufbereitung daraus berechneten Mittelwerte für Schwebstoffkonzentrationen, Strömungsgeschwindigkeiten und Schwebstofffrachten.

Tabelle 1  
Meßwerte und aufbereitete Daten

Datum	F l u t				E b b e				Oberw. Neu Darchau Q <sub>0</sub> m³/s	Temp.  T (°C)	Nettokonzentr. aus Meßdaten - c <sub>SN-gem.</sub> (g/m³)	nach Gl.6 berechnet - c <sub>SN-ber.</sub> (g/m³)
	Gesamtfracht		Konzentr.  c <sub>s</sub> (g/m³)	Ström.  v m/s	Gesamtfracht		Konzentr.  c <sub>s</sub> (g/m³)	Ström.  v (m/s)				
	Schweb. m <sub>sf</sub> (t)	Wasser Q <sub>w</sub> (10 <sup>6</sup> m³)			Schweb. m <sub>sf</sub> (t)	Wasser Q <sub>w</sub> (10 <sup>6</sup> m³)						
07.05.80	Abfluß nur in Ebberichtung				3820	107,9	35,4	1,14	2050	10	35,4	37,5
16.02.82	69	6,9	10,0	0,31	1099	56,8	19,4	0,92	1542	3	20,9	18,7
30.03.82	4,0	0,4	10,0	0,04	1281	66,4	19,3	0,87	1297	8	19,3	20,1
08.06.82	212	12,1	17,5	0,43	1270	41,4	30,7	0,77	601	21	36,1	35,4
10.08.82	479	16,6	28,9	0,48	938	28,3	33,1	0,65	296	22	39,2	36,8
26.10.82	190	11,3	16,6	0,37	580	34,5	16,8	0,66	367	11	16,8	17,3
07.12.82	214	15,5	13,8	0,47	471	36,2	13,0	0,73	340	4	12,4	11,7
10.03.83	37	3,4	10,9	0,17	653	47,0	13,9	0,75	740	6	14,1	13,7
29.06.83	399	15,2	26,3	0,49	1138	40,0	28,5	0,79	408	18	29,8	28,2
12.10.83	403	27,2	14,8	0,66	694	46,0	15,1	0,76	342	12	15,5	18,5
29.11.83	254	15,1	16,8	0,43	611	36,7	16,5	0,69	338	7	16,5	13,5



„Die Aufbereitung der gemessenen Daten ist als Beispiel auf Abb. 4 dargestellt. Strömungsgeschwindigkeit  $v$  und Schwebstoffkonzentration  $c_s$  sind über die Meßzeit für jede Meßlotrechte in Form von Ganglinien aufzutragen. Das Produkt aus Strömungsgeschwindigkeit und Schwebstoffkonzentration ergibt die Ganglinie der Schwebstofftriebdichte  $m'_s$ .“

Die Daten der  $m'_s$ -Ganglinie werden jetzt mit der Wassertiefe  $h$  multipliziert und als neue Ganglinie des Schwebstofftriebes  $m_s$  aufgetragen. Sie stellen dar, wieviel Schwebstoff pro Sekunde durch einen 1 m breiten Streifen zwischen Flußsohle und Wasseroberfläche transportiert wird. Bei Verwendung des CUX-SAMPLER kann  $m_s$  auch direkt aus den Meßdaten berechnet werden (s. Abschn. 3). Integriert man die jeweiligen  $m_s$ -Ganglinien über die Flut- bzw. Ebbedauer, so erhält man die Schwebstofffracht in jeder Meßlotrechten (1 m Breite) über die Flut- bzw. Ebbedauer.

$$m'_{sf} = \int m_s dt \quad \text{Gl. 1}$$

Die Werte für die Frachten zwischen zwei Meßlotrechten an einer Querschnittsstelle  $B_x$  mit der Wassertiefe  $h_x$  werden durch Interpolation so bestimmt, daß sowohl die unterschiedlichen Frachtwerte  $m'_{sf}$  an den beiden Meßlotrechten ( $m'_{sf1}$  und  $m'_{sf2}$ ) als auch die Wassertiefen  $h_1$  und  $h_2$  berücksichtigt werden. Als Interpolationsansatz kann dafür eine lineare Veränderung des Quotienten  $m'_{sf}/h$  gewählt werden. Damit errechnet sich der Frachtwert an einer beliebigen Stelle  $B_x$  zwischen zwei gemessenen Lotrechten 1 und 2 zu:

$$m'_{sfx} = h_x \left[ \frac{m'_{sf1}}{h_1} + \frac{\frac{m'_{sf2}}{h_2} - \frac{m'_{sf1}}{h_1}}{B_2 - B_1} (B_x - B_1) \right] \quad \text{Gl. 2}$$

Integriert man jetzt die Werte  $m'_{sf}$  getrennt für Flut und Ebbe über die Gesamtquerschnittsbreite  $B$

$$m_{sf} = \int m'_{sf} dB \quad \text{Gl. 3}$$

so erhält man die Gesamtfracht  $m_{sf}$ -Flut bzw.  $m_{sf}$ -Ebbe.“

Nach dem gleichen Prinzip werden die bei Flut und bei Ebbe insgesamt transportierten Wassermengen  $Q_w$ -Flut und  $Q_w$ -Ebbe bestimmt, wobei in den o. a. Formeln statt der Schwebstoffwerte die entsprechenden Strömungsdaten eingesetzt werden.

Aus der Gesamtfracht des Schwebstoffs  $m_{sf}$  und des Wassers  $Q_w$  kann die mittlere Schwebstoffkonzentration

$$\bar{c}_s = \frac{m_{sf}}{Q_w} \quad \text{Gl. 4}$$

getrennt für die Flut- und die Ebbephase bestimmt werden. Die so bestimmten mittleren Schwebstoffkonzentrationen geben genaue und verwendbare Daten, weil in ihnen die gewählten Standorte der Meßprofile, die Form des Flußquerschnittes, der wechselnde Tidewasserstand und vor allem die Strömungsgeschwindigkeiten berücksichtigt wurden.

Das gewählte Verfahren für die Datenaufbereitung erlaubt es so z. B. auch, mit einem einfachen Rechenschritt eine sogenannte „Netto-Schwebstoffkonzentration“  $\bar{c}_{SN}$  als resultierenden Wert aus den Flut-/Ebbedaten zu bestimmen:

$$\bar{c}_{SN} = \frac{m_{sf} \text{ Ebbe} - m_{sf} \text{ Flut}}{Q_w \text{ Ebbe} - Q_w \text{ Flut}} \quad \text{Gl. 5}$$

Diese Netto-Schwebstoffkonzentration wurde u. a. für Korrelationen mit anderen Parametern im folgenden Kapitel verwendet.



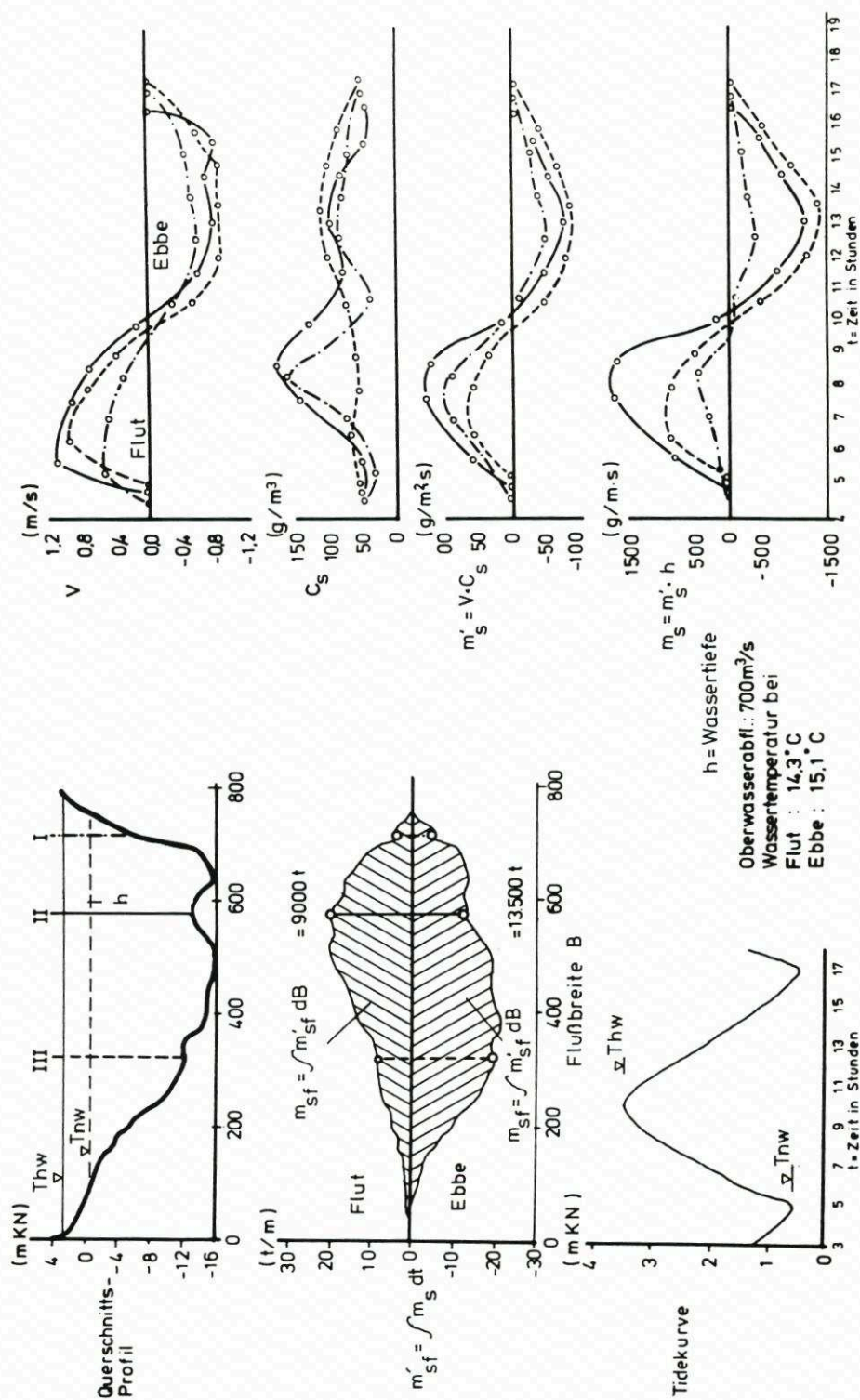


Abb. 4. Beispiel für die Ermittlung von Schwebstofffrachten in einem Tidefluß

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Schwebstoffkonzentrationen

Mit den Meßdaten von Oortkaten sollte herausgefunden werden, ob über die Fülle von gleichzeitig erfaßten Begleitparametern eine Abhängigkeit zu den wechselnden Schwebstoffkonzentrationen zu erkennen ist.

Als Begleitparameter wurden folgende, z.T. in Tabelle 1 aufgeführten Werte herangezogen:

- Oberwasser Neu Darchau
- Wasserfrachten bei Flut bzw. Ebbe
- Tidehub
- Flut- bzw. Ebbestromdauer
- mittlere und maximale Strömungsgeschwindigkeiten
- Stromweg, als  $\int v \, dt$
- Verhältnis Sand zu Schluff und Ton
- Glühverlust
- Wassertemperatur

Als Schwebstoffkonzentration wurde, wie in Kap. 4 beschrieben, der aus Flut und Ebbe resultierende Nettowert  $\bar{c}_{SN}$  verwendet.

Aus den Parameterstudien konnten Trends bisher nur bei

$$\bar{c}_{SN} = f(\text{Temperatur } T, \text{ Oberwasserführung } Q_o)$$

ermittelt und daraus die folgende Ausgleichsfunktion aufgestellt werden:

$$\begin{aligned} \bar{c}_{SN} &= T^2(a_2 Q_o^2 + b_2 Q_o + c_2) + a_1 Q_o^2 + b_1 Q_o + c_1 \\ \text{mit } a_1 &= 5,1 \times 10^{-6}; a_2 = 2,6 \times 10^{-8}; b_1 = -3,7 \times 10^{-3} \\ b_2 &= -1,9 \times 10^{-5}; c_1 = 11,54; c_2 = 5,7 \times 10^{-2} \end{aligned} \quad \text{Gl. 6}$$

Der Vergleich der in den beiden letzten Spalten von Tabelle 1 aufgeführten Werte

$\bar{c}_{SN}$ -gem., d. h. aus Meßdaten ermittelt und

$\bar{c}_{SN}$ -ger., d. h. nach Gleichung 6 berechnet

zeigt eine befriedigende Übereinstimmung.

Abb. 5 zeigt graphisch aufgetragen die Beziehung

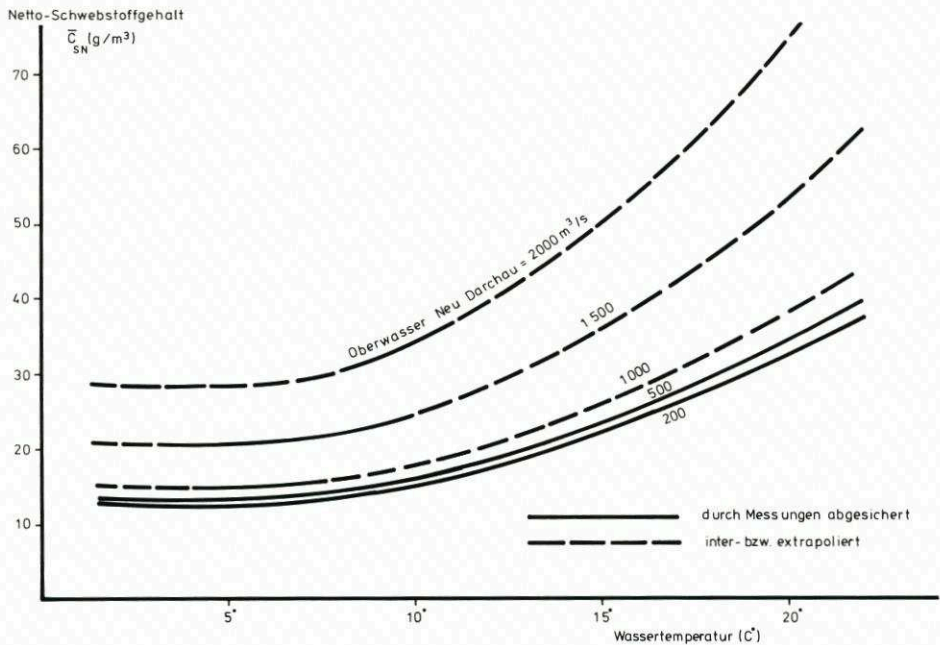
$$\bar{c}_{SN} = f(T, Q_o) \quad \text{Gl. 7}$$

Hervorzuheben ist die Feststellung, daß im Sommer bei 20 bis 22°C Wassertemperatur die Schwebstoffkonzentration doppelt so hoch ist wie im Winter bei Temperaturen unter 5°C und vergleichbaren Oberwasserführungen. Es ist zu vermuten, daß dies u. a. auf eine im Sommer verstärkt wirkende Biomasseproduktion zurückzuführen ist. Genauere Untersuchungen dazu sind bereits durchgeführt worden und sollen mit ersten Ergebnissen mitgeteilt werden (GREISER, 1985).

### 5.2 Schwebstofftransporte

Geht man davon aus, daß die für den Zeitraum 1980 bis 1983 gefundene Beziehung nach Gl. 6 auch auf frühere Jahre anwendbar ist, so lassen sich über Aufzeichnungen von Temperatur und Oberwasserführung nachträglich Schwebstoffkonzentrationen und -frachten



Abb. 5. Netto-Schwebstoffgehalt  $\bar{c}_{SN}$ , Temperatur  $T$  und Oberwasser  $Q_0$ 

bestimmen. Für den Zeitraum 1964 bis 1984 wurde so eine mittlere Jahresfracht für Oortkaten aus der Oberelbe von

$$510\,000 \text{ t/Jahr}$$

ermittelt. Dieser Wert liegt deutlich unter dem, der sich nach Angaben aus den Gewässer-kundlichen Jahrbüchern berechnen läßt und danach für den Vergleichszeitraum bei Hitzacker

$$830\,000 \text{ t/Jahr}$$

beträgt. Ob diese Differenz auf unterschiedliche Analysenverfahren bei der Schwebstoff-gehaltsbestimmung zurückzuführen ist, konnte nach einem ersten Vergleich im Nov. 1984 nicht zweifelsfrei geklärt werden. Dies soll durch weitere Vergleiche ebenso überprüft werden wie die Frage nach dem Einfluß unterschiedlicher Probenahmeverfahren.

Die Möglichkeit, daß höhere Schwebstoffkonzentrationen bei Hitzacker gegenüber Oortkaten auf Sedimentationen im Stauraum des Wehres Geesthacht zurückzuführen sind, muß ebenfalls überprüft werden. Bei den relativ geringen Unterhaltungsbaggerungen, die vom zuständigen WSA Lauenburg für den Abschnitt Hitzacker bis Geesthacht registriert werden, kann diese These nur dann folgerichtig sein, wenn bei höherer Oberwasserführung abgelagerte Sedimente resuspendiert und über das Wehr stromab verfrachtet werden.

Bei den drei Hochwasserereignissen mit  $Q_0$  zwischen 1297 und 2050 m³/s (s. Tab. 1) wurden bei Oortkaten zwar z. T. höhere, aber keine extrem hohen Konzentrationen gemessen. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Temperaturen kommt man danach zu dem Ergebnis (s. Abb. 5), daß bei 2000 m³/s Oberwasser die Schwebstoffkonzentration nur rd. doppelt so hoch ist wie bei 700 m³/s. Dieses Ergebnis ist nicht unumstritten. Aus Messungen der GKSS am Wehr Geesthacht hat WILKEN festgestellt, daß bei einem Anstieg der Oberwasserführung im Febr. 1985 von 400 auf 1300 m³/s die Schwebstoffkonzentration von 10 auf

50 g/m<sup>3</sup> zunahm. Die maximale Konzentration lag dabei rd. 10 Tage vor dem Maximum der Oberwasserführung.

Mit der Gegenüberstellung unterschiedlicher Meßergebnisse soll deutlich gemacht werden, daß hier noch einige Fragen zu klären sind. Genauere Aussagen für Oortkaten werden erwartet, wenn von der automatischen Meßstation genügend lückenlose Datenreihen vorliegen.

### 5.3 Eichdaten für die Dauermeßstation

Zur Ermittlung einer Beziehung zwischen Meßdaten im Vertikalprofil der Dauermeßstation zu denen im Gesamtflußquerschnitt wurden verschiedene Vergleiche aufgestellt. Wichtig in der Erkenntnis war dabei, daß der Vergleich allein der Schwebstoffkonzentration nicht befriedigen konnte. Das beste Ergebnis wurde erzielt beim Vergleich der im Stationsprofil festgestellten mittleren Schwebstofftransportraten in t/m<sup>2</sup> zum Gesamttransport im Gesamtquerschnitt in t, jeweils als Mittel über die Halbtiden Flut bzw. Ebbe (Abb. 6). Somit konnte bestätigt werden, daß der gewählte Standort für die Dauermeßstation geeignet ist, um nach entsprechender Hochrechnung der Daten repräsentative Aussagen für den Gesamtflußquerschnitt zu liefern.

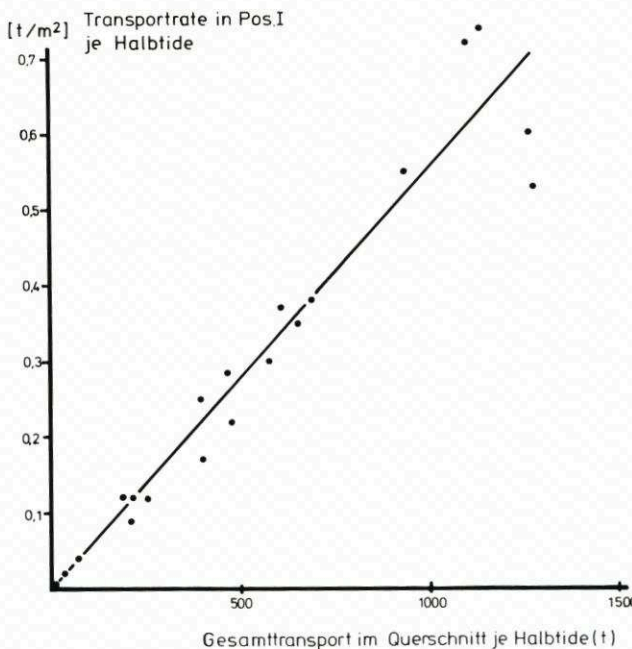


Abb. 6. Schwebstofftransport im Profil der Meßstation im Vergleich zum Gesamttransport

## 6. Schlußbetrachtung

Schwebstoffmessungen an Flüssen werden durchgeführt, um über die erhobenen Daten direkt oder unter Verwendung bestimmter numerischer Modellansätze Transportraten für das Gewässer zu ermitteln. Diese Werte sind wiederum die Grundlage für die Erforschung von Ablagerungsvorgängen, z. B. in Häfen, oder etwa die Ermittlung von Frachtraten von



Schwebstoff und angelagerten Schadstoffen über die Flüsse ins Meer. Die mitgeteilten Ergebnisse, die teilweise in nicht vernachlässigbarem Widerspruch zu Messungen anderer Institutionen stehen, sollen Weiterverwender von Daten zum kritischen Nachdenken anregen. Es soll ebenfalls deutlich gemacht werden, daß die Erforschung von Schwebstoff-Transportvorgängen vor allem in Tideflüssen ein sehr schwieriges Unterfangen ist, bei dem größte Sorgfalt in der Wahl von Meßstrategie, Meßgeräten und Analysetechnik Voraussetzung für verlässliche Aussagen ist.

## 7. Schriftenverzeichnis

- CHRISTIANSEN, H.: Über den Transport suspendierter Feststoffe in Ästuaren. *Hamburger Küstenforschung*, H. 28, 1974.
- CHRISTIANSEN, H., ÖHLMANN, G. u. TENT, L.: Probleme im Zusammenhang mit dem Anfall von Baggergut im Hamburger Hafen. *Wasserwirtschaft*, 72, 1982.
- CHRISTIANSEN, H., HAAR, S. u. RADTKE, G.: Zur Sedimentation in Hamburger Hafenbecken. *Gewässerkundliche Studie Nr. 1*, unveröffentlicht, Strom- und Hafenbau, Hamburg, März 1985.
- CHRISTIANSEN, H.: Das Forschungsvorhaben Schlick/Schwebstoffe in Ästuaren. *Die Küste*, H. 42, 1985.
- DVWK: Schwebstoffmessungen, DVWK-Regeln, 1985 (im Druck).
- GÖHREN, H.: Untersuchungen über die Sandbewegung im Elbmündungsgebiet. *Hamburger Küstenforschung*, H. 19, 1971.
- GREISER, N.: Die Bedeutung biologischer Faktoren für die Schwebstoffbildung – Untersuchungsmethoden und erste Ergebnisse. *Die Küste*, H. 42, 1985.
- NEUMANN, L. J. R.: AMO, die Automatische Meßstation Oortkaten: Meßsystem zur Sammlung von Schwebstoffproben und Messung von Begleitparametern. *Die Küste*, H. 42, 1985.
- RENGER, E.: Dauermessung des suspendierten Feststoffgehalts im Tidegebiet mit Hilfe von Durchlaufzentrifugen. *Intermaritec* 82, 1982.
- STEVENS, H. JR. et al.: Collapsible-Bag Suspended-Sediment Sampler. *Journal of the Hydraulics Division, Proc. of the ASCE*, Vol. 106, No. HY 4, April 1980.